

# 3 列 バ ラ ン ス 形 圧 縮 機

## 3 Row Balanced Opposed Compressors

山 本 嘉 巳\*  
Yoshimi Yamamoto

### 内 容 梗 概

わが国初めての3列バランス形圧縮機が完成した。第1号機は九州電機工業株式会社納 500 kW×5 kg/cm<sup>2</sup>×5,200 Nm<sup>3</sup>/min BTD<sub>3</sub> バランス形圧縮機であるが、引続いて製作納入された富士製鉄株式会社納 860 kW BTD<sub>3</sub> および住友石炭鉱業株式会社納 670 kW BTD<sub>3</sub> バランス形圧縮機も好調に稼働中である。

今後設備の大形集中化による総合効率向上のために、かような大形多列バランス形圧縮機の需要も増加すると考えられるので、以下3列バランス形圧縮機の特長、仕様、構造の要点を述べる。

### 1. 緒 言

近年における各種工業の発展は著しいものがあり、これに伴う圧縮機の需要も急激に増大してきた。

すなわち鉄鋼、電力などの基幹産業を始めとしてこれに付随する各種関連産業、中小企業を含めた一般機械工業、さらに化学合成工業や最近の石油化学工業に至るまで、あらゆる種類の圧縮機が要求され、そして製作されている。

しかしてこれら近代作業に要求される圧縮機に、共通して与えられる課題は、一に企業の合理化、生産の能率化にそった経済性の高い設備である。

これらの要求は圧縮機を高速小形にすること、および1基あたりの容量をあげ、さらにこれを集中設置して運転の総合効率をあげることに集約される。

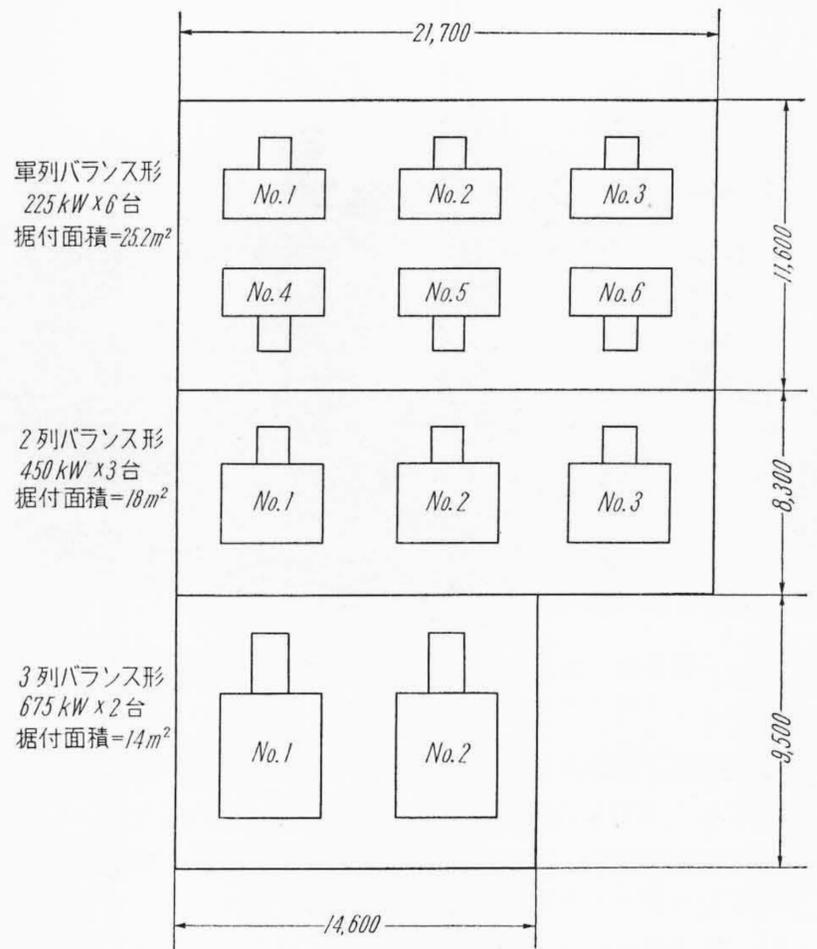
日立製作所は1953年、国内で始めてバランス形圧縮機の第1号機を製作し圧縮機の高速小形化の基礎を築き、それ以来種々の研究結果を採り入れて性能の向上と高速小形化への努力を続けているが、現在まで既に五百数十台余のバランス形圧縮機を製作している。

バランス形圧縮機はシリンダをクランク軸に対称に配置して、往復慣性力を完全に解消させたもので、このため振動がなく、小形で建家面積が小さく、基礎も小さくて構築費が安いほか保守取扱の面でもすぐれているなど従来の横形のものに比べて飛躍的に進歩したはなはだ経済性の高い圧縮機であり、今日では中形以上の圧縮機はバランス形が常識とされている<sup>(4)</sup>。

さらにバランス形圧縮機は前記特長のほかに、構造上相対向するシリンダの列数を容易に増加することができるので、その特性をいかして大容量機を製作することが容易であり、また多数のシリンダを用途によって各種のガスを取扱かわせる、いわゆる多用途圧縮機として製作することができるなど従来の複列式のものにみられない大きな特長がある。

したがって、この特長をいかした多列のバランス形圧縮機も早くから製作され、日立製作所でも2列のBTD<sub>2</sub>形を数多く製作してきた。今回これらの経験に基づいて九州電機工業株式会社納酸素分離装置用空気圧縮機として500 kW 3列バランス形すなわちBTD<sub>3</sub>形を完成した。3列形は欧米ではすでにみられるものであるが、国内では今回完成のものが国産第1号機で、圧縮機の大容量化、集中化に先べんをつけたものである。第1号機製作に引続いてほとんど同時に富士製鉄株式会社納 860 kW BTD<sub>3</sub>×1台および住友石炭鉱業株式会社納 670 kW BTD<sub>3</sub>×1台が納入され、いずれも好調に稼働中であり、さらに2台を製作中である。今後これらの大形機、および大形機の集中化の傾向も増加すると考えられるので、以下3列バラン

\* 日立製作所川崎工場



第1図 多列バランス形の据付面積比較

ス形圧縮機をもとにして、多列バランス形圧縮機の特長、仕様、構造の要点と設計製作上の二、三の問題点を述べる。

### 2. 特 長

大容量の圧縮機を設備する場合、単列バランス形圧縮機を多数用いる場合と、多列バランス形圧縮機を少数設備する場合、とを比較すれば一般に後者のほうが有利となることが多い。多列バランス形圧縮機の一般的特長は次のとおりである。

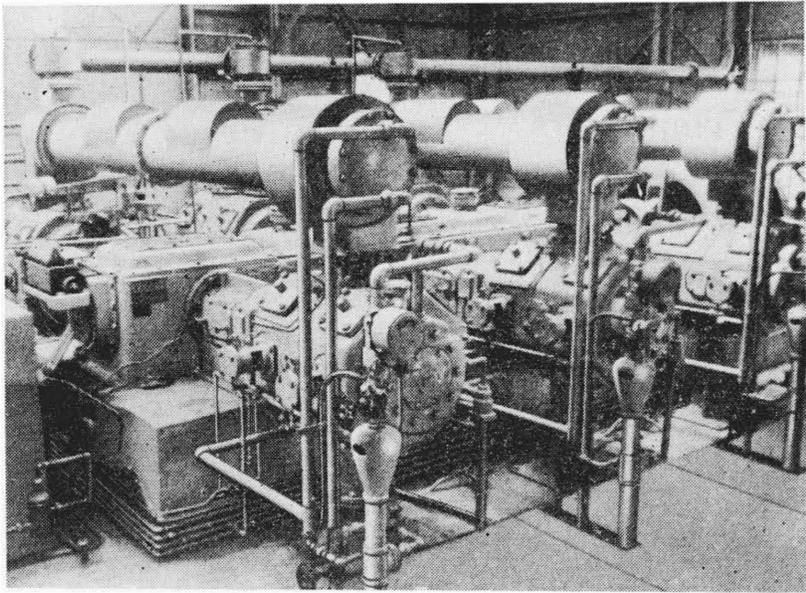
#### (1) 出力当りの重量が少ない

圧縮機をまとめて大形化すれば、単列のときに比べて共通な構成部分が省略されるので、機械重量は減少してくる。特に電動機および付属電機品の重量低下は著しい。

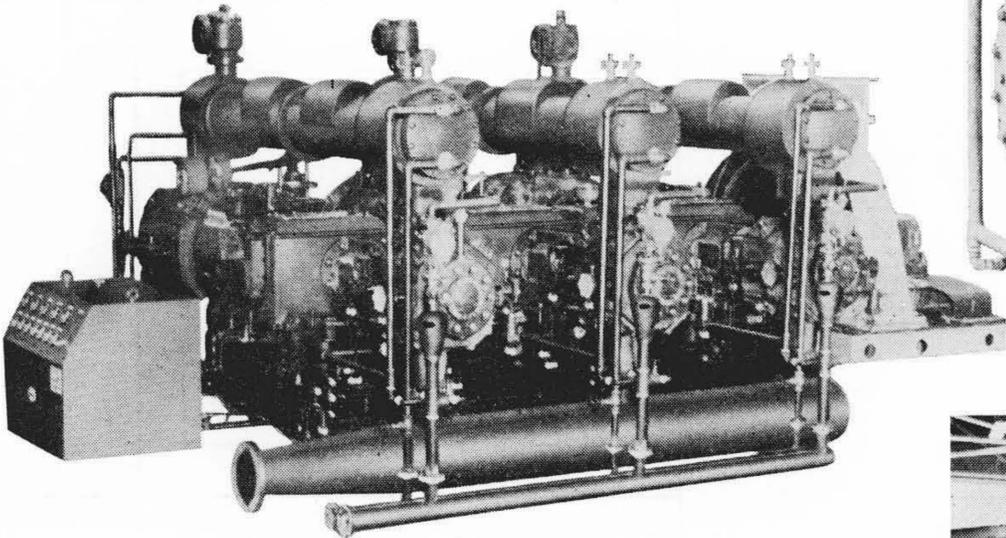
したがって電機品を含めた総価格が安価となる。

#### (2) 据付け面積が小さい

機械1台当りの所要面積は当然多くなるが、総据付面積は減少する。たとえば、総出力 1,350 kW を日立標準バランス形圧縮機で設備する場合、225 kW 単列形 (BTD)×6台、450 kW 2列形 (BTD<sub>2</sub>)×3台、675 kW 3列形 (BTD<sub>3</sub>)×2台の案があり、これら



第2図 3列バランス形圧縮機 BTD<sub>3</sub>-IMC

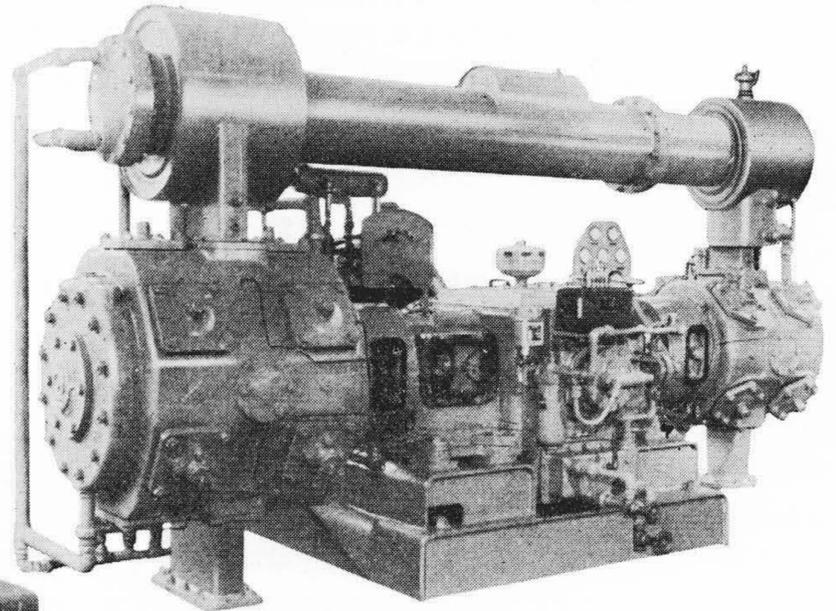


第3図 富士製鉄株式会社納 860 kW BTD<sub>3</sub>-IMC 3列バランス形圧縮機

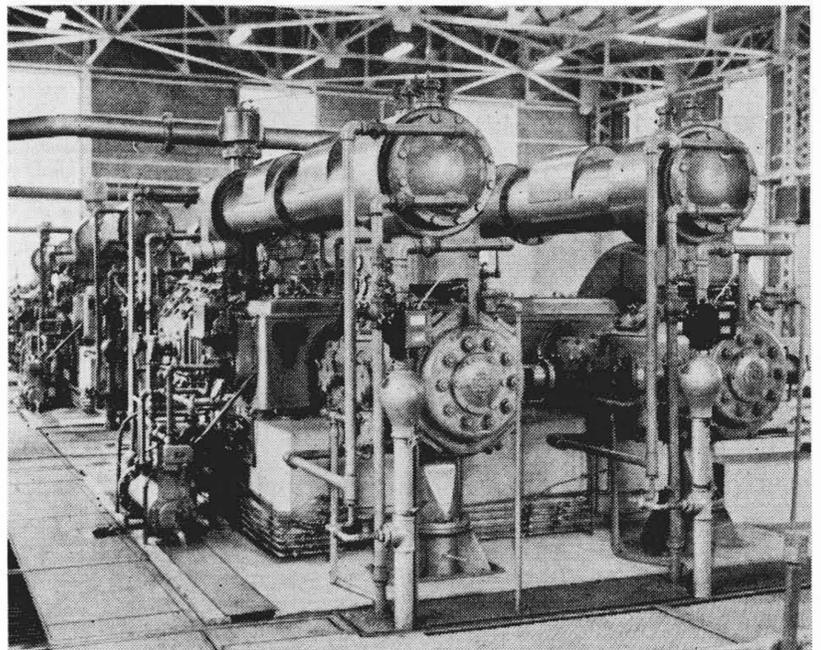
第1表 日立標準バランス形空気圧縮機仕様一覧

仕様 電動機出力(kW)×形	低圧シリンダ径×数(mm)	高圧シリンダ径×数(mm)	行程(mm)	回転数(S.S.) (rpm)	行程容積(m <sup>3</sup> /min)	吐出圧力(kg/cm <sup>2</sup> )
150 BTD	437×1	280×1	160	750/720	35.8/34.4	7.0
190 BTD	480×1	300×1	200	600	43.1	7.0
220 BTD	530×1	330×1	200	600	52.5	7.0
300 BTD <sub>2</sub>	437×2	280×2	160	750/720	71.6/68.8	7.0
370 BTD <sub>2</sub>	480×2	300×2	200	600	86.2	7.0
450 BTD <sub>2</sub>	530×2	330×2	200	600	105	7.0
560 BTD <sub>3</sub>	480×3	300×3	200	600	129.3	7.0
670 BTD <sub>3</sub>	530×3	330×3	200	600	157.5	7.0

注：150,300 kW BTD, BTD<sub>2</sub> 項中回転数、行程容積は50/60へに対応する。



第4図 150 kW BTD-ICC 単列バランス形圧縮機



第5図 450 kW BTD<sub>2</sub>-IMC 2列バランス形圧縮機

を機械間隔、通路および保守空間を一定として比較すれば、第1図のごとく BTD<sub>3</sub> の場合が据付け面積は最も少なくなる。

またこれに伴い、建家、基礎の構築費、主配管、水配管、ケーブルなどのダクトなど付帯設備費も減少する。

(3) 集中管理による労務費の節減

多数の小容量機、あるいは分散設置する設備に比較して大容量集中化の多列形では、運転監視、保守などに要する労務者を大幅に減らし管理費を節減することができる。これは近年管理費節約のため圧縮機の運転監視の簡素化、自動化、無人化が進められる傾向とともに、きわめて重要なことである。

(4) 負荷の平均化による総合効率の向上

分散設置の場合各機はそのピークロードに対しての容量をもつ必要があるがこれを集中すれば、集中機の容量は各機の平均された容量で足りる、ゆえに分散各機のピークロードが場所的、時間的にずれている場合は集中機の容量は各機の容量の総和より少ないものとなる。また多数の小容量機が低負荷運転および高負荷運転など負荷の変動が多い状態で運転している場合、これを多列形で集中する場合は、各負荷の平均した比較的高負荷状態で安定した運転を続けることになる。一般に電動機は負荷が減少すると効率は著しく低下するのでかかる見地からも平均高負荷での安定運転は効率の点からも望ましいところである。

(5) 保守が容易である

標準3列形の場合には標準ユニット機の組合せであるため、各部品は標準部品を使用しており、重量は軽く、保守点検が容易で取扱いやすく、かつ保守用部品の供給が円滑にできるなどユニッ

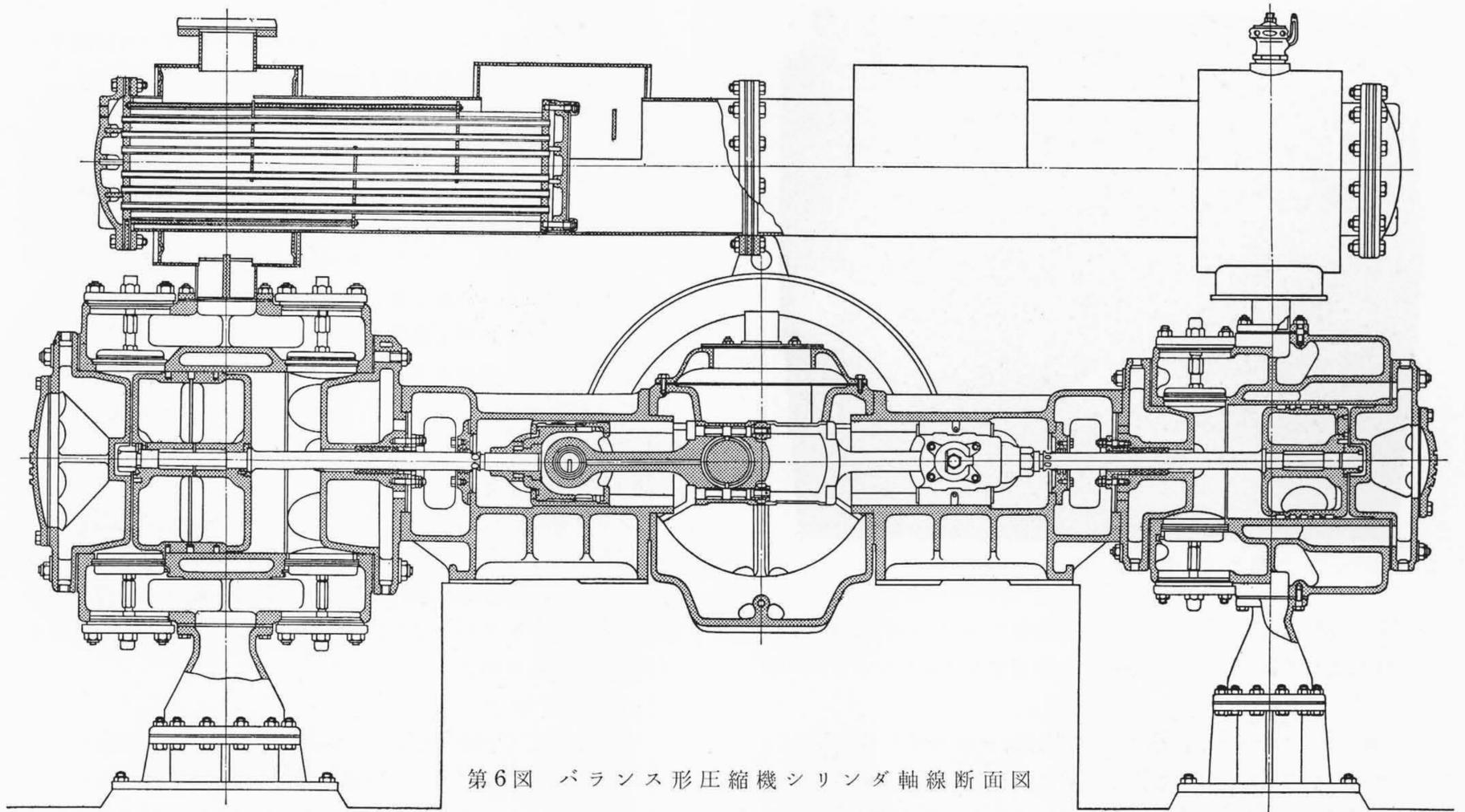
ト機と変わらない利点がある。

3. 仕様

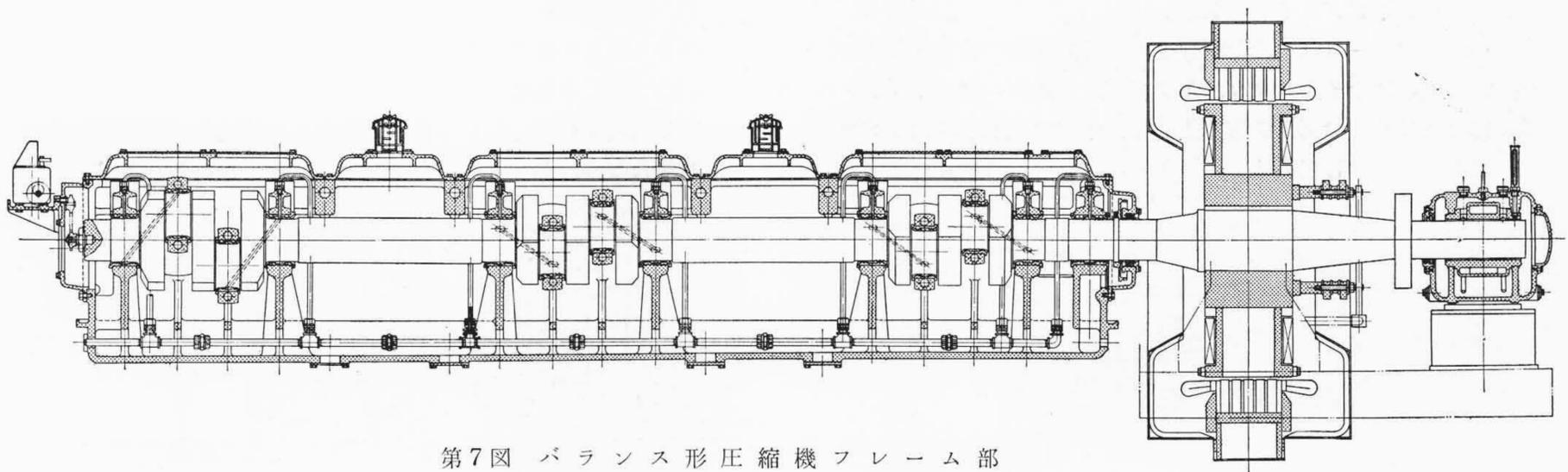
多列バランス形は前述のごとく、共通フレームに、対向するシリンダ列数を増加したものであるから、仕様決定上特別な制限はない。すなわち要求に応じたシリンダを組合わせてまったく自由に、要求仕様に合った高圧、低圧の大容量機、あるいは多用途圧縮機を製作することができる。

第2図は吐出圧力 5 kg/cm<sup>2</sup>g、吐出風量 5,200 Nm<sup>3</sup>/h の BTD<sub>3</sub> 形空気圧縮機であり、第3図は吐出圧力 15 kg/cm<sup>2</sup>g、吐出風量 6,000 Nm<sup>3</sup>/h の同じく BTD<sub>3</sub> 形空気圧縮機である。

圧力 2~15 kg/cm<sup>2</sup>g のものは一応標準圧縮機として標準仕様を定めてあるが一例として吐出圧力 7 kg/cm<sup>2</sup>g のものの仕様を示せば第1表のとおりである。



第6図 バランス形圧縮機シリンダ軸線断面図



第7図 バランス形圧縮機フレーム部

すなわち日立バランス形圧縮機の標準仕様は基本となる150kW, 190kW, 220kWの単列バランス形圧縮機BTD形(第4図)を基として、これを2列, 3列としたBTD<sub>2</sub>形, (第5図) BTD<sub>3</sub>形として定めてある。

したがってシリンダ部3種に対して8通りの機種が整備されるので、製作上からも、納入後の保守、部品供給の面からも、はなはだ有利である。

#### 4. 構 造

前述のとおり多列バランス形圧縮機は単列のもの列数増加であり、主要部の構造は単列のものとまったく同じである。第6図はシリンダの軸線に沿った断面を示す。すなわちフレーム、クランク軸の左右対称に高低圧シリンダを相対向させて配置し、中間冷却器をその上にまたがらせて配置した、ユニットのシリンダ列を数列組合わせてある。

これらの構成のもととなるシリンダ部およびフレーム部につき、例を標準空気圧縮機にとり概略を述べる。

##### (1) シリンダ部

(a) 高低圧シリンダはいずれも鋳鉄製で、冷却水ジャケットと放射状配置の空気弁をもち、内面はグラインド加工により精

密に仕上げられている。

(b) 複動形であるため、おなじく鋳鉄製のシリンダ外カバー、シリンダ内カバーを有し、内カバーの一部はスタフィングボックスを構成しており、合成ゴム製グランドパッキングを用いて気密を保っている。

(150kW, 300kWのみはシリンダと内カバーは1体である)

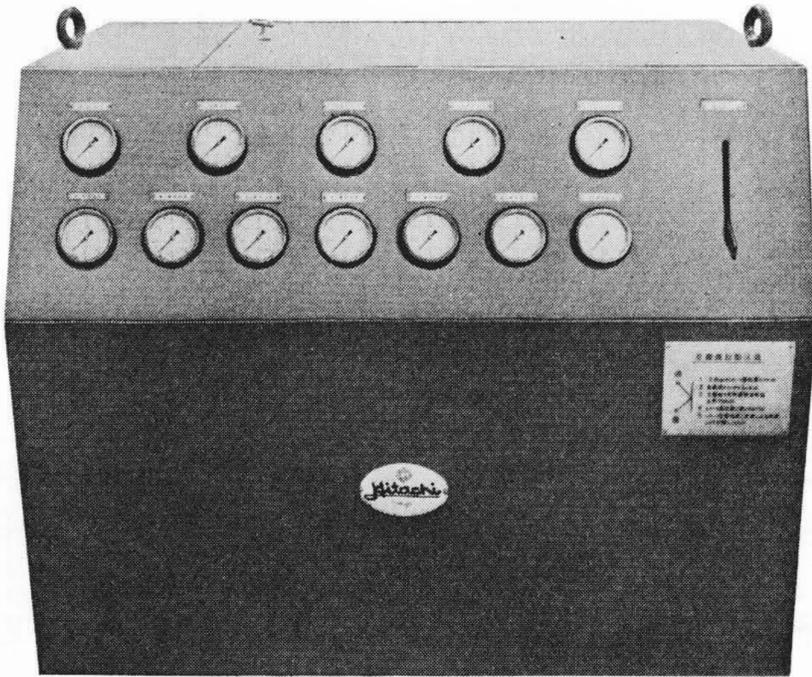
(c) ピストンは低圧は軽合金製、高圧は特殊軸受合金をかん装した鋳鉄製で重量バランスをとるとともに、単体重量を極力減少させ、またピストンロッドは高周波焼入後超仕上げを施してグランドパッキングの寿命増加、ピストンロッド自身の耐摩性を大きくした。

(d) 空気弁は日立独得のエヤクッション弁で動作の静粛と弁板の寿命増加をはかり、また抵抗が少なく効率のよように設計製作されている。

##### (2) フレーム部

フレームは第7図のように箱形の一体構造で同期電動機駆動の場合は回転子をクランク軸端に焼ばめする構造であるが、誘導電動機、あるいはエンジン駆動などの場合はクランク軸端にカップリング直結とするのを標準としている。

(a) クロスヘッドを誘導するクロスガイドは、シリンダとと



第8図 各部給油装置

もに単列のものと互換性のある鋳鉄製で、そのシリンダ側には、外部油を切るオイルスクレーパを装着するバックリングケースを取付けてある。

(b) クロスヘッド、小メタル部分は、クロスガイドと同じく、単列のものと同一にしてある。クロスヘッドがバビットライニングシューを有する調整形であり、また小メタルは燐青銅製のフローティングタイプである。

(c) フレームは十分な剛性を有する鋳鉄製の箱形一体式で、電動機端はオイルスロワ、スリング、合成ゴム製オイルシールにより外部油の漏出を防ぐ構造で、他端は内部油注油ポンプ駆動装置を内蔵している。

(d) クランク軸は一体の鍛鋼製で、6個のクランクピンに対し7個の主軸受で支持されるが、最外部の主軸受は外側軸受とともに電動機回転子を支持する方式である。

(e) 外部給油装置は第8図のように給油ユニットとしてまとめられ、コンパクトに取付けられる。すなわち、電動ギヤポンプ、オイルフィルタ、ストレーナ、オイルクーラ、油圧調整弁はユニット内に簡潔に組立てられ、さらにこのユニットは各種圧力計、軸受温度計、油圧リレー、起動アンロード、ハンドルなどを取付けて計器盤を兼ねている。

(3) 多列バランス形圧縮機の問題点

以上BTD<sub>3</sub>形に例をとりその構造の概略を述べたが、以下多列バランス形圧縮機的设计、製作、据付け上の二、三の問題点を述べよう。

(a) クランク軸

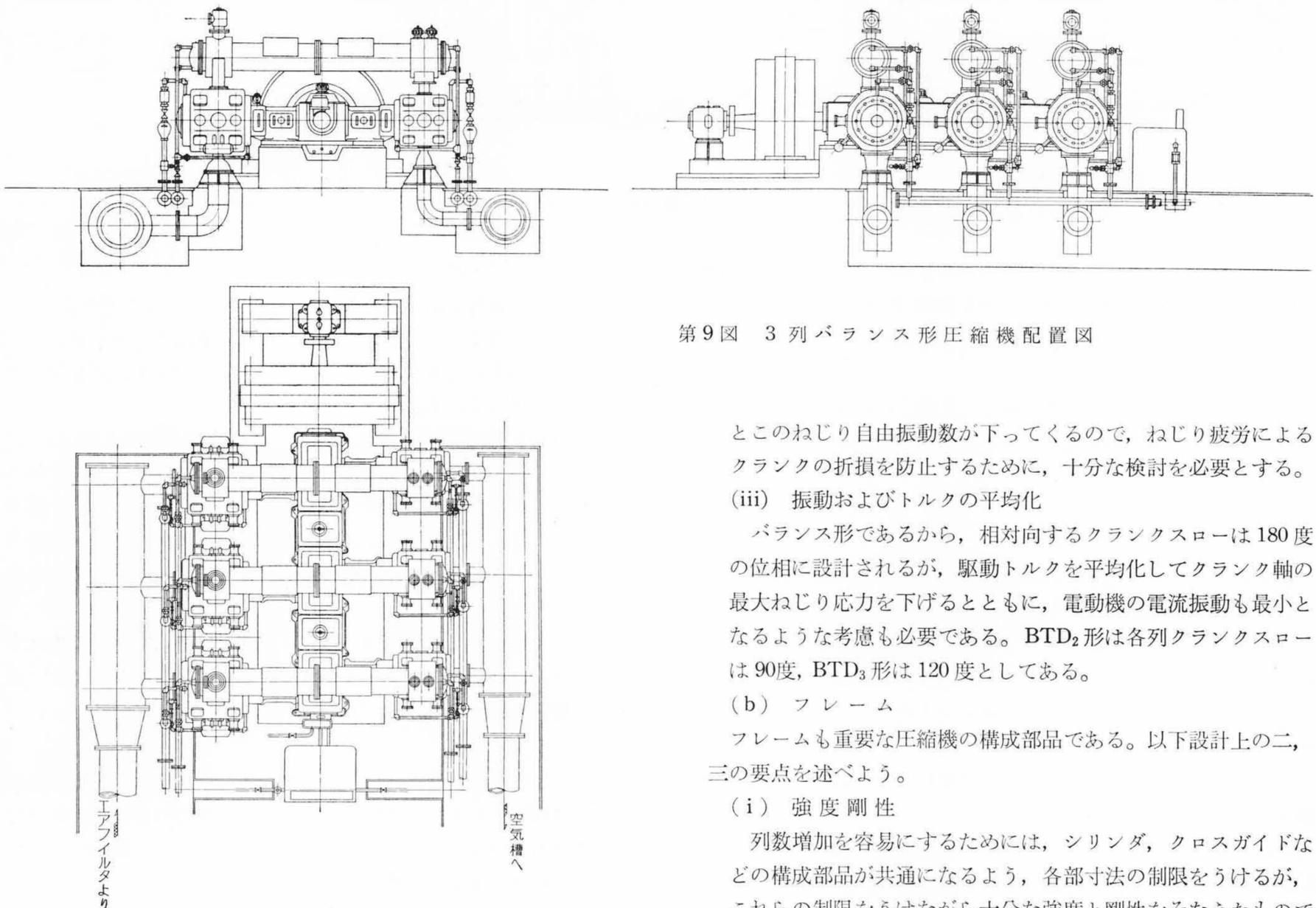
クランク軸は往復機械の生命となる最も主要な部品である。単列の場合にも十分な強度剛性を与えるため、細部にわたってその応力、たわみなどを計算し、これに既作騒音を折込んで製作されるが、多列バランス形のように多くのクランクスローをもつクランク軸は、さらに慎重に設計される。

(i) 強度剛性

単列と同じく各種運転条件におけるピストン力、慣性力およびそれらの合成力について詳細に応力、たわみが計算されるほか、多軸受クランクは軸受の同心度、軸受摩耗に対する付加応力、電動機回転子支持による軸受負荷などの点から、単列に比べより多くの剛性が要求される。

(ii) ねじり振動

単列のものは、ねじり自由振動数も比較的高く規定回転数の数倍となり、ねじり剛性が大き問題にならないが、多列になる



第9図 3列バランス形圧縮機配置図

とこのねじり自由振動数が下ってくるので、ねじり疲労によるクランクの折損を防止するために、十分な検討を必要とする。

(iii) 振動およびトルクの平均化

バランス形であるから、相対向するクランクスローは180度の位相に設計されるが、駆動トルクを平均化してクランク軸の最大ねじり応力を下げるとともに、電動機の電流振動も最小となるような考慮も必要である。BTD<sub>2</sub>形は各列クランクスローは90度、BTD<sub>3</sub>形は120度としてある。

(b) フレーム

フレームも重要な圧縮機の構成部品である。以下設計上の二、三の要点を述べよう。

(i) 強度剛性

列数増加を容易にするためには、シリンダ、クロスガイドなどの構成部品が共通になるよう、各部寸法の制限をうけるが、これらの制限をうけながら十分な強度と剛性をそなえたもので

なければならない。したがって設計にあたっては、各部の強度はもちろん、応力、たわみの基本的な実測を経て、これに経験と実績を加え、十分安全なものとして製作される。BTD<sub>3</sub>形はフレーム側面の剛性を増加するためにタイバーを用いている。

(ii) シリンダ部取付けに対する互換性

前述のごとくクロスガイド、クロスヘッドを含めてユニット式に列数増加が容易なように、これら部品の取付け寸法を同一にした。

(c) 配 管

第9図のように多列の場合は各シリンダの吸入、吐出管は集合管に接続される。吸入、吐出管の長さがある値であると、管内の空気振動により、いわゆる共振現象を起し、吸入不足あるいは過吸による電動機過負荷などのトラブルを発生することはよく知られている。多列バランス形の場合は、この共振現象も、シリンダが多数のため共振系も複雑になるが、これらのトラブルを避けるため、基本的な研究実験などにより、適当な設計がなされなければならない。

(d) 据 付 け

前述のごとく、多列フレームおよびクランクは、それら自身種々の要素による外力変形に対し十分なる剛性をもたせて設計製作しているが、据付けに際してもこの目的が十分果されるよう注意

が肝要である。

すなわち、フレームの据付けにあたっては、加工によって出されている多くの主軸受の精度が、同心に保たれるようフレームの変形を極力避けて据付けなければならない。これは据付けにおけるチョークライナの適正な使用と、クランク軸のデフレクション計測によって達成できる。

## 5. 結 言

以上このほど完成をみた3列バランス形圧縮機を中心に、多列バランス形の一般的特長と構造の概略を述べた。

多列バランス形は、前述のごとくその特質をよく検討の上、用途に応じて適切に選ばば、その特長を十分にいかして設備効率を向上させ、近代経営に益するところが大であると考えられるので、冒頭にも述べたとおり、今後大形集中化とともにその需要もますます増加すると考えられる。

## 参 考 文 献

- (1) 鮎沢：産業機械 No. 71, 9 (昭 31-9)
- (2) 鮎沢, 重松, 安藤：日立評論 別冊No. 19 (昭 32-9)
- (3) 緒方：新機械 vol. 7, No. 3 (昭 33)
- (4) 山本：産業機械 No. 108, 9 (昭 34-9)



## 特 許 の 紹 介



特許第231630号

綿 森 力

## タ ー ビ ン 点 食 防 止 法

タービンはロータが蒸気中で高速回転することにより摩擦作用による電荷を発生し、この電荷が蓄積して事故の原因になる。すなわちロータに蓄積した電荷は高圧になると軸受面の油膜を通して放電するが、その放電によって軸受面に異常侵食状態をつくる。これはいわゆる点食といわれる事故である。

これの防止策としてはロータに発生した電荷を随時大地に流出させてその蓄積を阻止することが考えられる。具体的手段としてしゅう動刷子をロータの一部に設置して上記の目的をはたそうとすることがすでに試みられているがこの機械的手段は必ずしも良好な結果

をもたらさない。作用の不完全さ、取扱いの不便さなどがその欠点である。

本発明はこの点にかんがみてなされたものでタービンのケーシングや軸受箱など回転部の収納容器内に放射性物質を内蔵することを特長とし、かくすることにより放射能が容器の流体をイオン化し回転部に発生した電荷を作動流体によって容器、そのほかの接地側に移動させて回転部の電荷蓄積を防止するものである。本発明に用いられる放射性物質はポロニウム、ストロンチウム90、コバルト60などでありその量は0.1 mgで十分である。(高橋記)

Vol. 21

日 立 造 船 技 報

No. 4

## 目 次

- ◎クロムメッキライナの有用性に関する研究
- ◎クロムメッキの密着試験法
- ◎亜鉛がま用鋼材の選定
- ◎熱交換器の適正拡張管について
- ◎耐食アルミ合金溶接部の欠陥の静的および疲れ強さに及ぼす影響に関する研究

- ◎ラダーストックの鑄造鍛造併用製作について(第1報)
- ◎外径仕上旋削における切削条件と表面あらさの関係
- ◎クリヤリングプレス
- ◎特許・新案・製品紹介
- ◎日立造船技報総目次(昭和35年度)

本誌につきましての御照会は下記発行所へ  
御願いたします。

日立造船株式会社技術研究所  
大阪市此花区桜島北之町